Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science
Région du Québec
Secrétariat canadien de consultation scientifique
Avis scientifique 2012/052

AVIS DE L'INITIATIVE DE RECHERCHE ÉCOSYSTÉMIQUE : ESPÈCES FOURRAGÈRES RESPONSABLES DE LA PRÉSENCE DU RORQUAL BLEU (*BALAENOPTERA MUSCULUS*) DANS L'ESTUAIRE MARITIME DU SAINT-LAURENT

Photo : Un rorqual bleu en train de s'alimenter (Véronique Lesage).

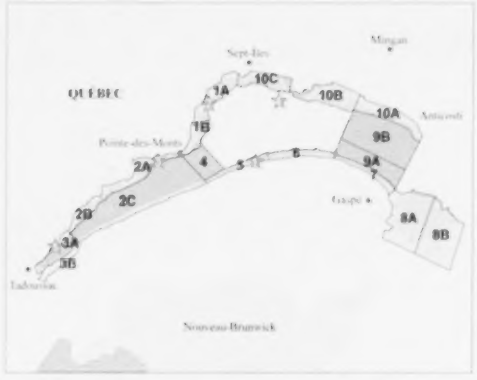

Figure 1 : Carte de l'estuaire maritime et du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent.

Contexte :

En 2005, le Plan Stratégique, « Nos eaux, Notre avenir » a mis à jour la vision du Ministère des Pêches et Océans (MPO) afin d'orienter ses objectifs et ses priorités pour les cinq prochaines années. La vision du plan était d'offrir des services de qualité à la population canadienne dans une perspective de développement durable et de l'utilisation sécuritaire des eaux du Canada. Le Plan Stratégique a servi à la définition des priorités de recherche dont une des propositions a été de réaliser des projets pilotes centrés sur des enjeux régionaux, des initiatives de recherche écosystémique (IRÉ). Lors de deux ateliers, tenus en juin et en juillet 2007 à l'Institut Maurice-Lamontagne (IML), des scientifiques du MPO de la région du Québec se sont penchés sur la question de la définition de l'approche écosystémique et de son application dans le contexte de l'IRÉ régionale. En septembre 2007, un troisième atelier a permis de dégager les grands thèmes de recherche, définis de façon à inclure un maximum d'enjeux identifiés par les clients internes et externes. Le présent avis concerne les travaux réalisés sous le thème :

- *Les espèces fourragères responsables de la présence du rorqual bleu dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent*

Le présent avis scientifique découle des ateliers de revus par les pairs du 28 au 31 mars 2011 et du 14 au 16 février 2012.

Toute autre publication découlant de ce processus sera publiée lorsqu'elle sera disponible sur le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences du MPO à l'adresse suivante : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/index-fra.htm.

Canada

SOMMAIRE

Ce document apporte de l'information sur (1) l'effet de facteurs et processus naturels sur l'abondance et la distribution d'espèces fourragères (euphausiacés ou « krill ») susceptibles d'influencer la distribution des rorquals bleus et (2) l'impact d'activités humaines sur la dynamique de certaines espèces clés de l'écosystème et leurs conséquences sur l'utilisation des ressources par les rorquals.

Enjeu : Espèces fourragères – Distribution du krill

- En 2009, des biomasses de krill ont été estimées pour l'Estuaire, le nord-ouest du golfe et au large de Gaspé à partir de relevés acoustiques de haute résolution spatiale. Les résultats suggèrent que *Thysanoessa raschii* est l'espèce dominante en biomasse plutôt que *Meganyctiphanes norvegica*. En juin 2008, un relevé à portée spatiale plus limitée a estimé pour la région de Pentecôte la plus grande valeur ponctuelle de krill jamais observée dans le golfe.

- En 2009, la répartition spatiale de *T. raschii* présentait des différences importantes entre juin et août malgré une biomasse totale similaire. En juin, plusieurs accumulations étaient situées le long des côtes nord et sud de l'estuaire et à la tête du chenal Laurentien. Une grande agrégation s'étendait aussi de Mont-Louis à Petite Vallée et une autre au large de Gaspé. En août, les zones d'accumulations importantes étaient moins nombreuses, mais les densités étaient plus élevées.

- En juin et août 2009, les plus fortes densités de *T. raschii* se retrouvaient souvent au-dessus des talus (100 – 180 m) du chenal Laurentien. Toutefois, une plus forte densité de *T. raschii* a été retrouvée au-dessus du chenal profond aux Escoumins, alors que les plus fortes densités le long de la côte sud de l'estuaire étaient concentrées au-dessus du plateau. Les répartitions saisonnières de *M. norvegica* étaient plus uniformes entre les zones bathymétriques. *T. raschii* a constamment été retrouvée plus haut (de 20 m en moyenne) que *M. norvegica* dans la colonne d'eau.

Enjeu : Espèces fourragères – Approvisionnement de l'estuaire et connectivité entre régions

- L'échange principal entre le golfe et l'estuaire par la circulation hydrodynamique s'effectue au large de Pointe-des-Monts où le courant peut être dirigé vers l'ouest (entrant dans l'estuaire), ou vers le sud (évitant l'estuaire) dépendamment du mode de circulation régionale, d'où le concept de « valve ». Selon la direction du courant, le krill sera dirigé soit vers l'estuaire (valve ouverte) soit vers la péninsule Gaspésienne au sud (valve fermée) d'où il peut être recirculé dans la gyre d'Anticosti ou transporté en aval vers Gaspé et le sud du golfe.

- Les densités relatives moyennes de krill étaient plus élevées aux stations de mouillages océanographiques de l'estuaire qu'à celles du nord-ouest du golfe lorsque moyennées sur toute l'année. Il existe cependant une grande variabilité à l'échelle mensuelle, cohérente avec le déplacement des agrégations. Certaines de ces agrégations se seraient étirées sur

plusieurs dizaines de kilomètres. Le transport cumulatif de la biomasse de krill indique un transport net vers l'amont à toutes les stations sauf celle du courant de Gaspé où il s'effectue vers l'aval. Les résultats ont mis en évidence la persistance des migrations verticales nycthémérales tout au long de l'année, même pendant l'hiver sous la glace, et leur contrôle par la photopériode.

- Les patrons de circulation correspondant aux conditions de valve ouverte ou fermée ont été retrouvés autant dans les mesures des courantomètres (stations de mouillages) que dans les résultats d'une simulation numérique de la circulation. L'analyse a permis de distinguer deux modes d'advection du krill dans l'estuaire : un mode saisonnier auquel se superposent des évènements ponctuels majeurs, les tempêtes.

- Indépendamment du concept de valve ouverte ou fermée, le transport de krill vers l'amont dans les couches profondes (80 – 180 m) est plus important en hiver et au printemps et ne s'effectue pas nécessairement le long de la rive nord de l'estuaire. En surface (0 – 40 m), le transport du krill vers l'amont le long de la rive nord (valve ouverte) survient principalement l'été et l'automne. Le passage de dépressions atmosphériques peut générer d'importantes entrées d'eau du nord-ouest du golfe vers l'estuaire et ajoute un autre niveau de variabilité au patron saisonnier.

- Le potentiel de transport d'une espèce dépend de son patron de migration journalière, de sa profondeur diurne et des facteurs pouvant les influencer comme les variations saisonnières et interannuelles du coefficient d'atténuation de la lumière. Ainsi, la probabilité de transport est potentiellement plus élevée pour *T. raschii* que pour *M. norvegica*, car cette dernière se retrouve plus en profondeur. Il est cependant difficile de prévoir comment la circulation estuarienne sera affectée par des changements futurs dans le débit fluvial du Saint-Laurent.

<u>Enjeu : Espèces fourragères – Habitats du rorqual bleu dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent</u>

- Une nouvelle analyse des données de photo-identification de mammifères marins de la station de recherche des Îles Mingan (Mingan Island Cetacean Study, MICS) a révélé qu'entre 1987 à 2007, 333 rorquals bleus ont été photo-identifiés individuellement dans l'estuaire et le golfe. De ce nombre, entre 23 et 96 rorquals bleus différents (moyenne ± SD = 60 ± 21) ont été répertoriés annuellement dans l'estuaire et le golfe. Aucune tendance temporelle n'est observée.

- Les rorquals dans le nord-ouest du golfe sont plus fortement associés aux concentrations de *T. raschii* qu'à celles de *M. norvegica* ce qui ferait de *T. raschii* une proie de choix pour les grands rorquals. Les rorquals bleus étaient associées aux agrégations où *T. raschii* était distribuée dans les premiers 100 m de la colonne d'eau (relevés effectués le jour).

- Une étude sur le comportement de plongée du rorqual bleu dans l'estuaire a conclu que l'observation répétée d'alimentation à moins de 30 m de la surface même le jour confirme une préférence pour des plongées de faibles profondeurs lorsque de la nourriture y est disponible, et renforce l'idée que, dans une certaine mesure, la qualité d'un habitat n'est pas définie seulement par la densité et l'abondance des proies, mais aussi par leur accessibilité.

- La quantité de krill ne semble pas être limitante dans l'estuaire, même si la compétition avec le rorqual bleu pour cette ressource s'étend des producteurs secondaires (autres organismes macrozooplanctoniques) jusqu'aux prédateurs supérieurs (poissons, rorquals).

Enjeu : Impacts du bruit de la navigation

- Le trafic dans la voie maritime du Saint-Laurent (environ 20 navires par jour) produit un bruit supérieur à celui correspondant au niveau de référence de Wenz pour un trafic élevé pendant au moins 75 % du temps dans les 200 premiers mètres de la colonne d'eau. Les niveaux de bruits sont relativement stables au cours des 12 mois d'étude de l'IRÉ, avec cependant une légère baisse en hiver, de la fin janvier au début février, résultant de la diminution du trafic. Les rorquals bleus produisent des sons de basses fréquences (inférieurs à 200 Hz). Le bruit d'origine anthropique, comme celui de la navigation, peut interférer avec la détection de ces sons et donc avec plusieurs activités vitales.

Enjeu : Contaminants

- Au cours de la période de 1994 à 2009, les concentrations de contaminants organiques persistants (POP) dans *M. norvegica* étaient soit en diminution (ex. DDT et PBDE), soit sans tendances significatives (ex. BPC et HCB). La contamination de *M. norvegica* par les POP semble être un bon indicateur des changements récents de la qualité environnementale de l'estuaire.

Enjeu : Indicateurs

- L'IRÉ a contribué à l'élaboration d'indicateurs potentiels physiques, chimiques et biologiques de l'état de l'écosystème. Parmi ces indicateurs, un grand nombre est influencé par la circulation estuarienne. Il est actuellement difficile de prévoir comment celle-ci sera affectée par des changements futurs dans le débit fluvial du Saint-Laurent.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

Depuis plusieurs années, le concept d'approche écosystémique est avancé mondialement comme une solution possible aux problématiques de gestion liées à la détérioration des écosystèmes marins et de leurs ressources découlant d'activités humaines, telles que les pêches, le développement industriel, l'aquaculture, etc. En 2007, le ministère des Pêches et Océans a développé plusieurs initiatives scientifiques régionales afin de tester l'application d'une telle approche écosystémique. L'estuaire maritime du Saint-Laurent a constitué le cadre d'une de ses initiatives de recherche écosystémique (IRÉ). Lors d'ateliers de consultations incluant la participation à la fois de scientifiques, de clients internes et externes et de gestionnaires, deux thématiques prioritaires ont été retenues pour la mise en œuvre de l'application de cette IRÉ, soit : (1) définition et caractérisation de l'habitat estival du béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent, et (2) espèces fourragères responsables de la présence du rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent.

Le cadre de référence du thème « Espèces fourragères responsables de la présence du rorqual bleu dans l'estuaire maritime », visait à apporter de l'information sur quatre points : (1) description des habitats pélagiques fréquentés par le rorqual bleu, soit la caractérisation des communautés pélagiques de l'estuaire en terme de structure, d'abondance et de distribution spatiale et

temporelle ; (2) identification des facteurs et processus environnementaux clés déterminant l'abondance, la distribution, la qualité et le comportement des espèces fourragères (notamment le krill) susceptibles de jouer un rôle important dans la dynamique saisonnière de la distribution des rorquals bleus ; (3) évaluation d'impacts d'activités humaines sur la dynamique de certaines espèces clés de l'écosystème et leurs conséquences sur l'utilisation des ressources par les rorquals dans l'estuaire maritime et (4) développement d'indicateurs et de protocoles permettant d'évaluer périodiquement l'état des habitats. Les principaux résultats pour les points 2 à 4 font l'objet de cet avis. Ce document pourra servir d'aide lors de l'élaboration du plan d'action ou du rapport de mise en œuvre du programme de rétablissement du rorqual bleu, population de l'Atlantique Nord-Ouest au Canada (Beauchamp et al., 2009).

En 2007, l'estuaire maritime du Saint-Laurent a été identifié par le MPO comme une des zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) de l'écosystème marin du Saint-Laurent en raison de la particularité et de la complexité des phénomènes physiques qui y procurent des conditions hydrographiques favorables à la production locale et à l'accumulation de zooplancton et de poissons pélagiques (MPO, 2007). L'estuaire du Saint-Laurent représente également une région importante pour les mammifères marins. Une partie des populations de béluga (*Delphinapterus leucas*) et de phoque commun (*Phoca vitulina*) du golfe y réside toute l'année (Michaud et al., 1990; Lesage et al., 2004), alors qu'au moins dix autres espèces, dont trois pinnipèdes et sept cétacés, visitent l'estuaire maritime de façon saisonnière, généralement lors des périodes d'eau libre de glace. La présence des rorquals bleus et des autres rorquals dans le Saint-Laurent en été est sans contredit liée à l'alimentation. Cependant, la proportion de la population de rorquals bleus du nord-ouest de l'Atlantique fréquentant l'estuaire maritime et le golfe, de même que la manière dont chaque individu partitionne ses efforts de recherche de nourriture entre les aires estivales d'alimentation disponibles sont encore mal comprises.

Parmi les menaces décrites dans le programme de rétablissement du rorqual bleu (Beauchamp et al., 2009), deux présenteraient un risque élevé pour la population, soit par leur probabilité d'occurrence et/ou la gravité de leur effet théorique : la disponibilité de la nourriture pour le rorqual bleu ainsi que le bruit d'origine anthropique qui entraîne une dégradation de l'environnement acoustique sous-marin et modifie le comportement du rorqual bleu. Le rorqual bleu est sténophage, c'est-à-dire qu'il se nourrit essentiellement d'une seule source de nourriture, en l'occurrence des euphausiacés (krill), bien que les copépodes puissent également constituer une fraction de leur alimentation (Sears et Calambokidis, 2002). Parce que leurs besoins énergétiques sont grands, on pense que ces animaux sont contraints à exploiter des endroits où l'agrégation saisonnière de proies est non seulement récurrente, mais également de densité élevée (Acevedo-Gutiérrez et al., 2002). De telles zones associées à des remontées d'eau (*upwelling*) ont été décrites dans le Saint-Laurent (Rose et Leggett, 1988 ; Koutitonsky et Bugden, 1991). En particulier, la tête du chenal Laurentien a été présentée comme une zone de concentration et de rétention récurrente du krill, mais le détroit de Jacques-Cartier, les environs de l'île d'Anticosti, le long de la Côte-Nord dans le nord-ouest du golfe ainsi que la Gaspésie le seraient également (Sourisseau et al., 2006). Il existe une étroite juxtaposition entre ces zones d'agrégation et les régions préférentiellement fréquentées par les cétacés (Lesage et al., 2007). Le régime alimentaire peu diversifié des rorquals bleus ainsi que leur possible dépendance pour des sites à forte densité de proies rendent ces derniers particulièrement vulnérables aux changements touchant l'abondance et/ou la répartition de leurs proies.

Toutes les informations récoltées dans le cadre de l'initiative de recherche écosystémique (IRÉ) ont été présentées et discutées lors d'ateliers régionaux annuels auxquels étaient invités la communauté scientifique régionale et tous les gestionnaires concernés ou possiblement intéressés par les livrables de l'IRÉ (gestionnaires des secteurs de Pêches et Océans, espèces en

péril, santé des Océans, parc marin du Saguenay–Saint-Laurent). Le tout a été soumis à une revue par les pairs lors d'un atelier de synthèse et d'intégration à l'hiver 2011. Les résultats complets pour ce thème de l'IRÉ de même que les détails de l'information recueillie pour ce rapport seront publiés dans un Document de recherche du Secrétariat canadien de consultation scientifique.

ANALYSE

Enjeu : Espèces fourragères – Distribution du krill

Des relevés acoustiques de haute résolution spatiale ont été effectués à l'échelle régionale (estuaire maritime et nord-ouest du golfe) en 2008 et 2009. L'effort d'échantillonnage a été concentré au niveau des plateaux et talus où la biomasse de zooplancton est généralement plus élevée, tout en échantillonnant les plus faibles densités des zones profondes. Pour tous les relevés, la biomasse d'euphausiacés (ou de krill) a été estimée pour *Thysanoessa* spp. (principalement *T. raschii* et dans une moindre mesure *T. inermis*) et *Meganyctiphanes norvegica*.

En 2009, la biomasse totale de *T. raschii* pour l'ensemble des strates (couverture complète de la région) s'élevait à 348 ± 59 kt en juin et à 543 ± 53 kt en août. La biomasse de *M. norvegica* a été estimée à 289 ±35 kt en juin et à 344 ± 25 kt en août. La biomasse totale du krill dans la région des relevés est donc estimée à 637 kt en juin et 887 kt en août 2009. La valeur ponctuelle la plus élevée a cependant été trouvée en juin 2008 dans la région de Pentecôte (131 kt, soit 66 ± 18 kt pour *T. raschii* et 64 ± 13 kt pour *M. norvegica* sur une aire de 1286 km^2) (Figure 2). Cette valeur représente la plus grande estimation systématique d'abondance et de densité de krill documentée dans le golfe à date.

La répartition spatiale de *T. raschii* présentait des différences importantes entre juin et août 2009, mais la biomasse totale échantillonnée était similaire pour les deux mois. En juin, les accumulations étaient situées le long de la côte nord de l'estuaire, de Baie Comeau à Forestville, au niveau de la tête du chenal Laurentien ainsi qu'au niveau de la côte sud de l'estuaire. Une grande agrégation s'étendait aussi de Mont-Louis à Petite Vallée et une accumulation était présente au large de Gaspé. En août, les zones d'accumulations importantes étaient moins nombreuses, mais les densités étaient plus élevées. Les agrégations étaient principalement retrouvées le long de Pentecôte, à Forestville, entre Matane et Cap-Chat et au large de Gaspé où les densités dépassaient de 2,6 à 4,3 fois celles de juin. Les densités étaient par contre de 3,3 à 11 fois plus faibles le long de la côte nord de l'estuaire, à la tête du chenal Laurentien et dans le courant de Gaspé. Une autre caractéristique des relevés de juin et d'août 2009 était l'absence de *T. raschii* entre l'île d'Anticosti et Sept-Îles. De juin à août, la densité de *M. norvegica* a décliné partout de 2,4 à 3,6 fois, à l'exception de la Gaspésie où la densité augmentait par un facteur de 5,3.

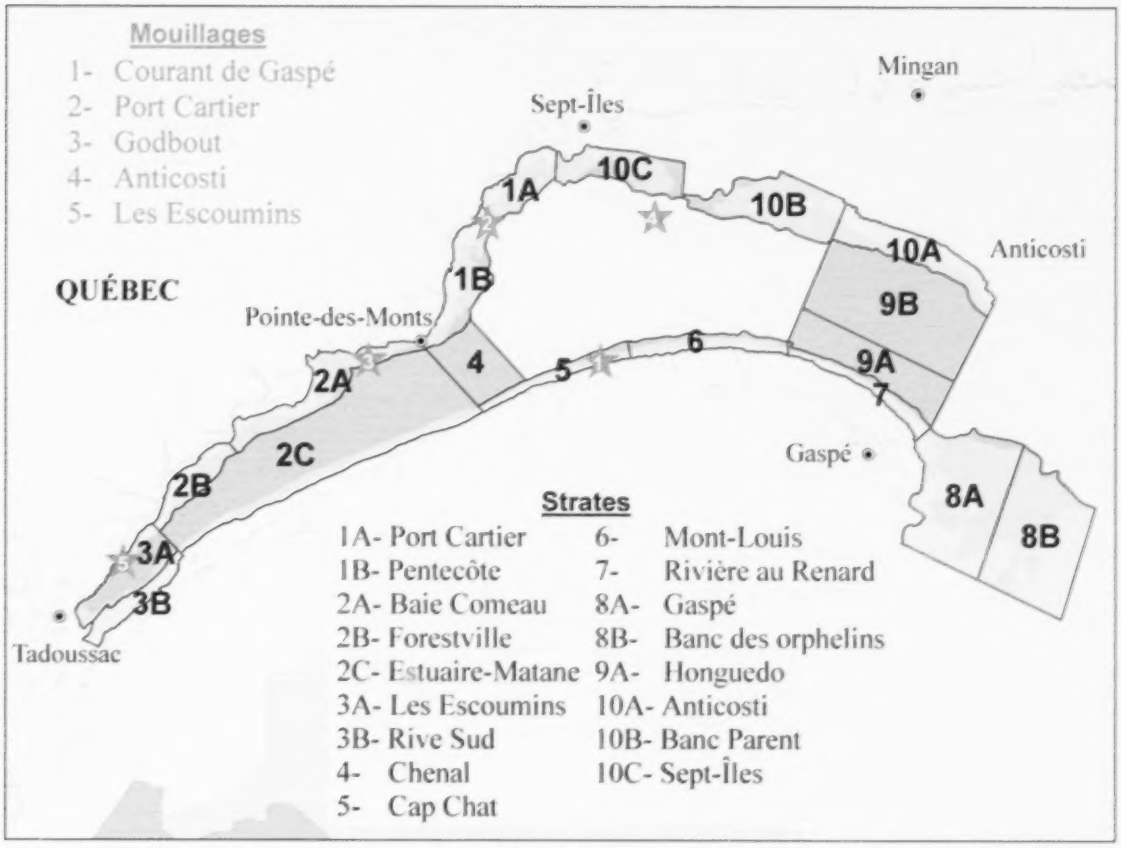

Figure 2 : Carte montrant les strates échantillonnées lors des relevés acoustiques régionaux de zooplancton et les stations (étoiles rouges) de mesures des séries annuelles des courants, des caractéristiques des masses d'eau et de la biomasse acoustique. Les habitats définis en fonction de la profondeur sont également présentés (de la côte vers le large : plateau, talus et chenal).

L'aire d'étude a été subdivisée en zones bathymétriques : le plateau (10 – 100 m), le talus (100 – 180 m) et le chenal (>180 m) afin d'étudier la distribution verticale des espèces (Figure 2). En juin 2009, les plus fortes densités de *T. raschii* ont été retrouvées au dessus des talus du chenal Laurentien plutôt qu'au dessus des plateaux près de la côte ou au dessus du chenal profond. *T. raschii* était encore plus concentrée en août au dessus des talus. Toutefois, tous les secteurs ne reflétaient pas ce patron moyen. En juin et en août 2009, une plus forte densité de *T. raschii* a été retrouvée au dessus du chenal aux Escoumins, alors que les plus fortes densités étaient concentrées au dessus du plateau le long de la côte sud de l'estuaire. Les répartitions saisonnières de *M. norvegica* étaient plus uniformes entre les zones bathymétriques.

La profondeur où se situait le maximum de biomasse de chacune des espèces de krill était plus grande en dehors de l'estuaire qu'à l'intérieur. Bien que les distributions verticales se chevauchaient, *T. raschii* a constamment été retrouvée plus haut (en moyenne 20 m) dans la colonne d'eau que *M. norvegica*.

En résumé, les résultats de sept relevés acoustiques régionaux menés entre 2008 et 2009 révèlent des régions d'accumulation importante de krill au niveau du nord-ouest du golfe, particulièrement au nord-est de Pointe-des-Monts, dans le courant de Gaspé et au large de Gaspé, souvent supérieures à celle observée dans l'estuaire maritime. Les résultats suggèrent également qu'en 2008 et 2009, *T. raschii* était l'espèce de krill dominante en biomasse par rapport à *M. norvegica*. Ces relevés montrent aussi que la distribution de *M. norvegica* s'étend plus au large et plus uniformément en profondeur entre le talus et le chenal alors que *T. raschii* occupe principalement les masses d'eau au dessus des talus et des plateaux.

Enjeu : Espèces fourragères – Approvisionnement de l'estuaire et connectivité entre régions

L'échange principal entre le golfe et l'estuaire par la circulation hydrodynamique s'effectue au large de Pointe-des-Monts, où le courant peut être dirigé vers l'ouest (entrant dans l'estuaire) ou vers le sud (évitant l'estuaire) dépendamment du mode de circulation régionale, d'où le concept de « valve ». Selon la direction du courant, le krill sera dirigé vers l'estuaire (valve ouverte) ou vers la péninsule Gaspésienne au sud (valve fermée) où il peut soit être recirculé dans la gyre d'Anticosti, soit transporté en aval vers Gaspé et le sud du golfe. Le mécanisme de fonctionnement de l'approvisionnement en krill de l'estuaire a été étudié en combinant des mesures sur le terrain et des résultats de la modélisation hydrodynamique 3-D couplée à un modèle de transport de particules. Les mesures ont été effectuées à cinq sites au sein du patron de circulation (Figure 2). Les instruments mouillés aux stations comprenaient des courantomètres à effet Doppler (ADCP) qui ont fourni de l'information sur les vitesses et les directions des courants ainsi que sur la biomasse de zooplancton (dominée par le krill) de 2007 à 2009.

En général et pour les deux années d'observations, les densités relatives moyennes de krill estimées étaient plus élevées aux stations de l'estuaire qu'aux stations le long du parcours de circulation et ce, pendant toute l'année. Il existe cependant une grande variabilité à l'échelle mensuelle, cohérente avec le déplacement des agrégations. Certaines de ces agrégations de krill se seraient étirées sur plusieurs dizaines de kilomètres. Le transport cumulatif de la biomasse de krill indique un transport net vers l'amont à toutes les stations sauf à celle du courant de Gaspé où le transport s'effectue vers l'aval. Les résultats ont mis en évidence la persistance des migrations verticales nycthémérales tout au long de l'année, même pendant l'hiver sous la glace, et leur contrôle par la photopériode.

Les patrons de circulation correspondant aux conditions de valve ouverte ou fermée ont été retrouvés autant dans les mesures des ADCP que dans les résultats de la modélisation. L'analyse a permis de distinguer deux modes d'advection du krill dans l'estuaire soit un mode saisonnier auquel se superposent des évènements ponctuels majeurs. Le transport de krill vers l'amont dans les couches profondes (80 – 180 m) est plus important en hiver et au printemps et ne s'effectue pas nécessairement le long de la rive nord. En surface (0 – 40 m), il se fait principalement vers l'amont le long de la rive nord (valve ouverte) à partir de l'été (juillet) et à l'automne. À cette période, l'eau douce sort le long de la rive sud de l'estuaire. Au printemps, le courant de surface (sortie d'eau douce) prend la forme d'un jet côtier qui tourne vers le nord dans la moitié amont de l'EMSL pour longer la rive nord avant de bifurquer vers le sud près de Pointe-des-Monts. Cette circulation semble empêcher les entrées d'eaux côtières du nord-ouest du Golfe vers l'EMSL le long de la côté nord. À cette variabilité ou patron saisonnier s'ajoute l'influence d'évènements ponctuels tels que le passage de dépressions atmosphériques qui, selon leurs trajectoires, peuvent générer d'importante entrées d'eau du nord-ouest du golfe vers l'estuaire; la valve est alors ouverte. L'advection est maximale à la surface et peut atteindre des profondeurs de 100 à

150 m. Les tempêtes générant des entrées d'eau le long de la rive nord sont celles dont l'orientation des isobares favorise un empilement d'eau par le vent le long de la rive nord dans la portion Sept-Îles – Pointe des-Monts. De plus, lorsque le centre de basse pression se déplace dans l'axe de l'estuaire, l'ajustement du niveau de l'eau à la pression atmosphérique (effet de baromètre inverse) contribue à la génération de courants vers l'amont, quoique de plus faible intensité.

Puisque le mécanisme de la valve implique principalement les courants entrants en surface et dans la couche intermédiaire froide (CIF), la probabilité de transport est potentiellement plus élevée pour *T. raschii* que pour *M. norvegica* qui se retrouve plus en profondeur. Le potentiel de transport d'une espèce va dépendre également de son patron de migration journalière, de sa profondeur diurne et des facteurs pouvant les influencer comme les variations saisonnières et interannuelles du coefficient d'atténuation de la lumière. L'impact des différences de la profondeur diurne entre *T. raschii* et *M. norvegica* sur leur potentiel de transport vers l'amont a été simulé à l'aide du modèle numérique. Le transport vers l'amont du krill à la section de Pointe-des-Monts a été observé principalement durant trois périodes où la valve était ouverte selon les mesures sur le terrain (ADCP) et le modèle. De plus, les courants simulés à la profondeur du centre de masse de *T. raschii* étaient en général plus forts que ceux associés au centre de masse de *M. norvegica*, particulièrement en été sur le flanc nord du chenal Laurentien dans le nord-ouest du golfe et l'estuaire maritime. Les flux simulés pour *T. raschii* vers l'amont à Pointe-des-Monts résultaient autant d'évènements de transport au niveau de la CIF (jour) qu'en surface (nuit), illustrant la forte cohérence dans la direction des courants entre les couches de surface et la CIF à cette section d'août à octobre.

Enjeu : Stabilité à long terme du système hydrodynamique

Le transport du krill dans l'estuaire (ouverture de la valve) et la localisation de ses accumulations dans le secteur d'étude sont fortement liés à la circulation hydrodynamique. Cette section présente les modifications potentielles du système hydrodynamique en relation avec les changements climatiques. Le débit fluvial, la stratification et la circulation estuarienne sont étroitement liés. Dans une simulation numérique du système du Saint-Laurent (J. Chassé et D. Brickman, GFC-BIO, MPO, comm. pers.; Galbraith et al., 2011), l'amplification estuarienne, définie comme le rapport entre le transport d'eau salée sortant de l'estuaire et le transport net d'eau douce sortant de l'estuaire, variait d'un minimum de 6 en juin jusqu'à un maximum de 23 en décembre (c'est-à-dire que le transport sortant de l'estuaire peut être 23 fois plus grand que le débit fluvial en décembre). Il faut toutefois noter que ces transports incluent aussi des courants latéraux qui ne sont pas associés à la circulation estuarienne, tels que des incursions de la gyre d'Anticosti dans l'embouchure de l'estuaire. Dans ces simulations, lorsque les débits et transports étaient moyennés sur toute l'année, une augmentation du débit fluvial résultait en un transport estuarien (eaux salées qui entrent par le fond et ressortent par la couche de surface) relativement stable, car elle était compensée par une baisse de l'amplification estuarienne. Par contre, pris mois par mois, une augmentation des crues printanières résultait non seulement en une baisse de l'amplification estuarienne, mais aussi en une baisse du transport estuarien, car l'estuaire devient alors tellement stratifié que les eaux fluviales se mélangent moins avec les eaux sous-jacentes et glissent plutôt par-dessus, réduisant le transport sortant de l'estuaire et, par conséquent, les entrées d'eau en provenance du golfe. La distribution dans le temps (i.e. le cycle annuel) d'un futur débit plus ou moins élevé serait donc aussi importante qu'une augmentation ou une diminution. Selon les simulations de Saucier et al. (2009) concernant des scénarios de débits futurs réduits, la circulation estuarienne serait par contre réduite en été et augmentée en hiver. Il

est par conséquent difficile de prévoir comment la circulation estuarienne sera affectée par des changements futurs dans le débit fluvial du Saint-Laurent.

Enjeu : Espèces fourragères – Habitats du rorqual bleu dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

Une nouvelle analyse des données de photo-identification de mammifères marins de la station de recherche des Îles Mingan (Mingan Island Cetacean Study, MICS) a été complétée dans le cadre de l'IRÉ (Comtois et al., 2010). De 1987 à 2007, 333 rorquals bleus ont été photo-identifiés individuellement dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. De ce nombre, 94 individus ont été identifiés dans la région du détroit de Jacques-Cartier (Minganie). En comparaison et malgré un effort d'échantillonnage moindre, beaucoup plus de rorquals bleus ont été identifiés individuellement dans l'estuaire (220 individus), la péninsule gaspésienne (134 individus) et entre Sept-Îles et Pointe-des-Monts (114 individus). Ces données ont permis d'établir qu'entre 23 et 96 rorquals bleus différents (moyenne ± SD = 60 ± 21 individus), ont été répertoriés annuellement dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Aucune tendance temporelle n'est observée, possiblement à cause de la variabilité spatiotemporelle de la couverture d'échantillonnage. Actuellement, la taille de la population de rorquals bleus de l'Atlantique Nord-Ouest n'est pas connue, mais les experts estiment qu'il est peu probable que le nombre d'animaux matures excède 250 individus (Sears et Calambokidis, 2002). La proportion réelle de la population fréquentant l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent demeure inconnue.

Les résultats de Comtois et al. (2010) montrent aussi que 67 % des 333 rorquals bleus photographiés ont été vus au moins lors de deux années différentes dans le Saint-Laurent. De ces individus revus plus d'une année, les trois quart ont été observés dans plus d'une région. Ces informations illustrent l'importance de l'estuaire et du golfe pour les rorquals et leur caractère nomade.

D'après les photo-identifications, les rorquals bleus sont généralement observés dans l'estuaire entre juin et octobre, avec une présence plus marquée lors des mois d'août et septembre. Cependant, quelques observations ont également été rapportées pour les mois de mai et décembre. Des indices additionnels de la fréquentation de l'estuaire maritime par le rorqual bleu ont été obtenus dans le cadre de l'IRÉ par le déploiement d'hydrophones autonomes permettant l'enregistrement de l'activité vocale des cétacés. Les résultats préliminaires suggèrent également la persistance d'individus dans la région jusqu'à tard en automne et au début de l'hiver.

Les relevés régionaux effectués le jour, lorsque le krill est en profondeur, ont montré que les rorquals dans le nord-ouest du golfe sont plus fortement associés aux concentrations de *T. raschii* qu'à celles de *M. norvegica*. En 2008 et 2009, *T. raschii* présentait une biomasse totale plus élevée avec des agrégations locales plus denses et se maintenait moins en profondeur dans la colonne d'eau le jour que *M. norvegica*. L'espèce serait ainsi une proie de choix pour les grands rorquals.

Bien que l'on s'attende à ce que les rorquals bleus exploitent les agrégations les plus denses pour satisfaire leurs besoins en énergie, les rorquals bleus ont rarement été observés directement sur le noyau dense des agrégations de *T. raschii* lors des relevés d'août 2009. De plus, plusieurs zones d'agrégation denses étaient dépourvues de rorquals bleus alors que d'autres où la densité était plus faible étaient très fréquentées. Les rorquals bleus étaient plutôt associés aux agrégations où *T. raschii* était distribuée dans les premiers 100 m de la colonne d'eau.

Nous avons vu que *T. raschii* a constamment été retrouvée plus haut que *M. norvegica* dans la colonne d'eau (en moyenne 20 m) lors des relevés acoustiques. La présence de krill à moins de 100 m peut être influencée également par le cycle de vie des espèces. Des agrégations de surface observées de jour en 2009 contenaient une grande proportion d'individus matures (prêts à pondre). Le déclenchement de la ponte étant souvent associé à la floraison phytoplanctonique, les rorquals bleus pourraient bénéficier de ces zones de chevauchement entre les agrégations de krill et les floraisons phytoplanctoniques. En plus de l'aspect spatial, la notion d'habitat du rorqual bleu pourrait donc devoir tenir compte également d'un aspect temporel associé au cycle vital et au comportement du krill.

Une étude réalisée dans l'estuaire, hors du cadre de l'IRÉ, a démontré que les plongées de faible profondeur exigent moins de temps de récupération à la surface et permettent d'atteindre les plus hauts taux d'alimentation par heure. L'observation répétée d'alimentation à moins de 30 m de la surface, même le jour, confirme cette préférence pour les faibles profondeurs lorsque la nourriture y est disponible, et renforce l'idée que, dans une certaine mesure, la qualité d'un habitat n'est pas définie seulement par la densité et l'abondance des proies, mais aussi par leur accessibilité.

Enjeu : Causes potentielles de mortalité dans l'estuaire maritime

L'impact des perturbations engendrées par les activités humaines est difficile à déterminer, notamment dû au manque d'information sur la dynamique des populations de mammifères marins et à la diversité des activités humaines et de leurs conséquences dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Outre la chasse historique et les mortalités d'origine naturelle (c.-à-d. emprisonnement dans les glaces et prédation par les épaulards), un total de neuf menaces au rétablissement des rorquals bleus de la population de l'Atlantique Nord-Ouest a été identifié dans le programme de rétablissement (Beauchamp et al., 2009). Étant donné la petite taille de cette population, même les activités affectant un faible nombre d'individus peuvent avoir une incidence importante sur la survie de l'espèce dans l'Atlantique. Parmi les menaces décrites, deux présenteraient un risque élevé pour la population de rorquals bleus, soit par leur probabilité d'occurrence et/ou la gravité de leur effet théorique : la disponibilité de la nourriture et le bruit d'origine anthropique qui entraîne une dégradation de l'environnement acoustique sous-marin et modifie le comportement du rorqual bleu. Les menaces à risque moyennement élevé sont les contaminants marins persistants, les collisions avec les navires et le dérangement causé par l'observation des baleines à des fins touristiques ou scientifiques. Les menaces à risque moins élevé comprennent les dommages physiques causés par le bruit, les prises accidentelles dans les engins de pêche, les épizooties (épidémies qui frappent les animaux) et les efflorescences d'algues toxiques ainsi que les déversements de produits toxiques. L'identification des causes de mortalité des mammifères marins à partir des données d'échouage est donc importante comme indicateur biologique et comme outil de gestion en permettant d'évaluer l'efficacité des mesures de conservation établies autant dans les aires marines protégées qu'à l'extérieur. Pour le rorqual bleu et les autres grands rorquals, la situation est compliquée par le fait qu'ils coulent rapidement après leur décès suite à une collision avec un navire.

Enjeu : Influence de la prédation sur la disponibilité du krill

La prédation potentielle sur *T. raschii* et *M. norvegica* a été estimée à partir des données d'alimentations des principales espèces présentes dans l'estuaire maritime (Ouellet et al., 2012). Parmi les principaux prédateurs de krill (donc compétiteurs pour le rorqual bleu), on retrouve des invertébrés (crevette nordique *Pandalus borealis*, amphipode hypéridé *Themistho libellula* et plancton gélatineux), des poissons (capelan, petits démersaux, etc.) et des mammifères marins (petit rorqual *Balaenoptera acutorostrata*). La proportion de krill dans l'alimentation des différentes espèces étudiées représente en moyenne 12,1 %. Cette proportion atteint environ 95 % de l'alimentation du rorqual bleu et se situe entre 20 % et 58 % des petits poissons pélagiques. La prédation potentielle totale est de l'ordre de 15,0 t km^{-2} an^{-1} pour *M. norvegica* et 19,5 t km^{-2} an^{-1} pour *T. raschii* (soit environ 98 kt et 127,5 kt respectivement par an) dans l'estuaire maritime. La quantité de krill ne semble donc pas être limitante dans l'estuaire (35 % de la production est utilisée en moyenne pour la prédation), même si la compétition avec le rorqual bleu pour cette ressource est présente depuis les producteurs secondaires (autres organismes macrozooplanctoniques) jusqu'aux prédateurs supérieurs (poissons, rorquals).

Enjeu : Impacts du bruit de la navigation

Les mammifères marins utilisent divers sons pour communiquer entre eux, détecter et localiser leurs proies, percevoir diverses propriétés de leur environnement par analyse de la « scène sonore », détecter la présence de prédateurs et d'autres menaces, ainsi que pour naviguer sous l'eau. Les rorquals bleus produisent des sons de basses fréquences (< 200 Hz). Le bruit d'origine anthropique, tel que celui de la navigation, peut interférer avec la détection de ces sons et donc avec plusieurs activités vitales. L'IRÉ a permis de réaliser une série annuelle complète d'enregistrements utilisant la technologie PAM (« passive acoustic monitoring » ou hydrophones fixes) au milieu de la voie de navigation.

La série de bruit de 12 mois récoltée pendant l'IRÉ montre un niveau médian de 112 dB re 1 µPa pour la bande de 10 à 900 Hz, comparable aux mesures précédentes à la station de l'embouchure de l'estuaire. Les niveaux de bruits sont relativement stables au cours de la série de 12 mois, avec cependant une légère diminution en hiver, de la fin janvier au début février, résultant de la diminution du trafic.

Le trafic dans la voie maritime du Saint-Laurent (environ 20 navires par jour) produit un bruit supérieur à celui correspondant au niveau de référence de Wenz pour un trafic élevé pendant au moins 75 % du temps dans les 200 premiers mètres de la colonne d'eau. Étant donné la bonne propagation du bruit de basse fréquence, tel que celui de la navigation, la taille de l'empreinte acoustique d'un navire (> 20 km), la vitesse de déplacement (~15 nœuds) et la fréquence de récurrence le long de la voie maritime (~ 1/h), il reste peu de temps entre le passage de 2 navires consécutifs pendant lequel le bruit peut atteindre les faibles niveaux de bruit naturels. Dans l'estuaire maritime, il est estimé que 40 % des infrasons émis régulièrement par les rorquals communs et les rorquals bleus ont une forte probabilité d'être masqués par le bruit de la navigation après s'être propagés sur seulement 30 km. Le bruit d'origine anthropique est une des deux menaces avec un risque élevé identifiées dans le plan de rétablissement du rorqual bleu (Beauchamp et al., 2009). Cependant, les relations du bruit avec l'intensité du trafic, les types de navires et leurs diverses caractéristiques doivent être explorées plus à fond avec des données appropriées afin de pouvoir élaborer un modèle prédictif pour l'estuaire maritime qui permettra de mieux étudier la réponse des mammifères marins à différents niveaux de bruit.

Enjeu : Contaminants

Le krill est à la base de la chaîne alimentaire et constitue la nourriture principale de nombreux organismes et prédateurs supérieurs, notamment le rorqual bleu. Il représente donc le principal vecteur de transfert des contaminants lipophiliques vers le rorqual bleu. La courte longévité du krill favorise son utilisation comme indicateur des changements récents de la qualité environnementale et de l'exposition des prédateurs aux composés organiques persistants (POP). Un projet de recherche a été réalisé afin d'accroître nos connaissances sur les niveaux et les tendances de la contamination chez *M. norvegica*.

Les résultats préliminaires indiquent que les différentes classes de POP, notamment les biphényles polychlorés (BPC), les polybromo-diphényléthers (PBDE) et plusieurs pesticides organochlorés (dont le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et ses métabolites, l'hexachorobenzène, (HCB)), sont présentes à des niveaux détectables dans les échantillons analysés. Au cours de la période 1994 - 2009, les concentrations des contaminants dans *M. norvegica* étaient soit en diminution (ex. DDT, PBDE), soit sans tendances significatives (ex. BPC, HCB). On s'attend à ce que les concentrations pour les BPC, le HCB et le DTT dans l'écosystème du Saint-Laurent soient stables ou légèrement à la baisse puisque la réglementation de ces composés persistants date de plus de 30 ans et qu'ils sont recyclés dans le milieu. Parmi les composés étudiés, les PBDE sont ceux pour lesquels la réglementation est la plus récente. La contamination par les PBDE chez *M. norvegica* montre une diminution significative. Cet organisme semble avoir répondu rapidement aux restrictions dans l'usage des PBDE et pourrait donc représenter un bon indicateur des changements récents de la qualité de l'environnement.

Enjeu : Indicateurs

Un plan de suivi écologique de la future zone de protection marine (ZPM) de l'estuaire du Saint-Laurent est en développement. Il doit porter sur les composantes écologiques visées par les objectifs de la ZPM, sur ce qui les menace et sur les effets potentiels de ces menaces sur ses composantes. Des indicateurs pour chacune des menaces et pour chacun de leurs effets potentiels sur les composantes écologiques de la ZPM sont donc requis. Ces indicateurs sont choisis en fonction de leur capacité à évaluer l'atteinte des objectifs de conservation et l'efficacité des mesures de gestion appliquées dans la ZPM. Également, le plan de suivi de la ZPM doit comprendre une série d'indicateurs d'état de l'écosystème physique, chimique et biologique. Ces indicateurs fourniront de l'information sur le contexte dans lequel l'écosystème de l'estuaire du Saint-Laurent évolue. À partir des résultats de l'IRÉ, certains indicateurs sont proposés pour alimenter ce plan de suivi.

Les entrées d'eau calculées par le modèle hydrodynamique couplé avec la modélisation de la position verticale des particules peuvent servir d'indicateur du potentiel de transport de krill du nord-ouest du golfe vers l'estuaire maritime. Le suivi des vents dans la région de Sept-Îles pourrait représenter un indice supplémentaire de la présence d'un évènement d'entrée d'eau à Pointe-des-Monts. Cependant, le développement des connaissances sur les contrôles de l'abondance (ex. reproduction, recrutement, mortalité) et de la distribution horizontale du krill (ex. disponibilité des agrégations à la valve de Pointe-des-Monts) est nécessaire afin d'obtenir un indicateur du transport réel de krill dans l'estuaire maritime.

De même, l'identification des causes de mortalité des mammifères marins à partir des données d'échouage est importante comme indicateur biologique et comme outil de gestion en permettant d'évaluer l'efficacité des mesures de conservation.

Enfin, la contamination de *M. norvegica* par les composés organiques persistants (POP) semble être un bon indicateur des changements récents de la qualité environnementale. La courte longévité du krill favorise son utilisation comme indicateur des changements récents de la qualité environnementale et de l'exposition des prédateurs aux POP.

Enjeu : Utilisation de l'approche écosystémique

La mise en œuvre de l'IRÉ de l'estuaire du Saint-Laurent était fondée principalement sur l'importance d'une approche écosystémique et/ou intégrée pour mieux soutenir la gestion écosystémique, tel que prescrit dans le document « Pour un nouveau cadre scientifique écosystémique en faveur d'une gestion intégrée ». En vue d'appliquer cette approche dans le contexte de l'IRÉ, une définition de l'approche écosystémique aux Sciences a été développée dans la région du Québec pour guider un processus de planification scientifique impliquant des clients internes et externes de même que les scientifiques de l'IML. Il en résulta un programme de recherche multidisciplinaire assujetti à un processus formel de prestation d'avis scientifiques en vue de fournir des éléments de réponses aux enjeux de gestion.

Ce programme a intégré des travaux de recherche ou des suivis en cours avec l'information déjà disponible et des nouveaux travaux visant à combler certaines lacunes importantes dans les connaissances. L'arrimage de l'initiative avec d'autres programmes visant des objectifs apparentés ou similaires (centres d'expertises des Sciences et des Océans, santé des océans [HOTO], *Loi sur les espèces en péril*, CRSNG, monitorage zonal et régional) a permis d'une part de créer des leviers financiers importants qui ont favorisé la complémentarité entre les initiatives et l'optimisation des ressources qui y sont affectées; d'autre part, elle a facilité l'optimisation des aspects logistiques nécessaires à la réussite de l'initiative, notamment les missions en mer.

CONCLUSION

L'estuaire maritime du Saint-Laurent est un milieu diversifié, dynamique et complexe où l'évolution des composantes est influencée par divers forçages environnementaux ou liés à l'activité humaine. Concernant l'objectif principal de ce volet de l'IRÉ, les divers projets nous permettent de tirer des conclusions sur les processus affectant la présence de la ressource « krill » et l'attrait de l'estuaire maritime pour les rorquals bleus. On pouvait, *a priori*, supposer que l'abondance du krill dans l'estuaire maritime était déterminée à la fois par sa production (reproduction, survie, recrutement, etc.) et son transport par le patron général de circulation des masses d'eau. L'aspect production du krill n'a pas été traité dans le cadre de l'IRÉ. Par contre, des résultats importants et innovateurs ont clarifié les conditions de fonctionnement des échanges hydrodynamiques entre le nord-ouest du golfe et l'estuaire maritime et montré l'importance du comportement des espèces (par ex. distribution et comportement de migration verticale) pour le transport du krill. Les échanges entre l'estuaire maritime et le golfe se font suivant un patron général plus au moins constant entre les années, mais l'analyse a aussi montré l'importance de phénomènes sporadiques et difficilement prévisibles comme le passage de tempêtes sur la région. La distribution des agrégations de krill dans l'estuaire maritime est également sous l'influence du patron de circulation et montre une grande variabilité saisonnière. Des agrégations importantes sont observées à la tête du chenal Laurentien ainsi que le long de la péninsule Gaspésienne et de la côte nord entre Pointe-des-Monts et Sept-Îles. La quantité de krill ne semble pas être limitante dans l'estuaire, même si la compétition avec le rorqual bleu pour cette ressource s'étend des producteurs secondaires (autres organismes macrozooplanctoniques) jusqu'aux prédateurs

supérieurs (poissons, rorquals). Elle pourrait donc possiblement supporter une consommation plus élevée. Ces résultats de l'IRÉ amènent une interprétation de « l'habitat alimentaire » du rorqual bleu dans l'estuaire maritime comme étant un phénomène spatio-temporel dynamique couvrant toute la période de présence de l'espèce. Il est donc difficile de proposer un indicateur écosystémique prédictif de la qualité de cet habitat. Toutefois, il est possible de développer un indicateur de l'abondance du krill qui tienne compte des forçages atmosphériques favorisant les échanges entre l'estuaire et le golfe, et des transports de courants entre les deux bassins estimés par des modèles numériques.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 14 au 16 février 2012 sur l'Initiative de recherche écosystémique dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent : formulation des avis scientifiques à l'appui de la gestion écosystémique. Toute autre publication découlant de ce processus sera publiée lorsqu'elle sera disponible sur le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences du MPO à l'adresse suivante : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/index-fra.htm.

Acevedo-Gutiérrez, A., D. A. Croll et B. R. Tershy. 2002. High feeding costs limit dive time in the largest whales. J. Exp. Biol., 205: 1747-1753.

Comtois, S., C. Savenkoff, M.-N. Bourassa, J.-C. Brêthes et R. Sears. 2010. Regional distribution and abundance of blue and humpback whales in the Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 2877: 1-48.

Galbraith, P. S., J. Chassé, D. Gilbert, P. Larouche, D. Brickman, B. Pettigrew, L. Devine, A. Gosselin, R. G. Pettipas et C. Lafleur. 2011. Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2010. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc., 2011/045: iv + 83 pp.

Koutitonsky, V. G. et G. L. Bugden. 1991. The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence: A review with emphasis on the synoptic variability of the motion. In The Gulf of St. Lawrence: Small ocean or big Estuary? J.-C. Therriault (Editor). Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci., 113: 57-90.

Lesage, V., J.-F. Gosselin, M. O. Hammill, M. C. S. Kingsley et J. W. Lawson. 2007. Ecologically and Biologically Significant Areas (EBSAs) in the Estuary and Gulf of St. Lawrence – A marine mammal perspective. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc., 2007/046: 1-94.

Lesage, V., M. O. Hammill et K. M. Kovacs. 2004. Long-distance movements of harbour seals (*Phoca vitulina*) from a seasonally ice-covered area, the St. Lawrence River estuary, Canada. Can. J. Zool., 82: 1070-1081.

Michaud, R., A. Vézina, N. Rondeau et Y. Vigneault. 1990. Distribution annuelle et caractérisation préliminaire des habitats du béluga, *Delphinapterus leucas*, du Saint-Laurent. Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat., 1757: 1-31.

MPO. 2007. Zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent : identification et caractérisation. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci., 2007/016.

Beauchamp, J., H. Bouchard, P. de Margerie, N. Otis et J.-Y. Savaria. 2009. Programme de rétablissement du rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), population de l'Atlantique Nord-Ouest au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la *Loi sur les espèces en péril*, Pêches et Océans Canada, Québec, *vi* + 64 p.

Rose, G. A. et W. C. Leggett. 1988. Atmosphere-ocean coupling in the northern Gulf of St. Lawrence: Frequency-dependent wind-forced variations in nearshore sea temperatures and currents. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45: 1222-1233.

Saucier, F. J., F. Roy, S. Senneville, G. Smith, D. Lefaivre, B. Zakardjian et J.-F. Dumais. 2009. Modélisation de la circulation dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en réponse aux variations du débit d'eau douce et des vents. Rev. Sci. Eau, 22: 159-176.

Sears, R. et J. Calambokidis. 2002. Update COSEWIC status report on the blue whale, *Balaenoptera musculus*, in Canada. In COSEWIC assessment and update status report on the blue whale, *Balaenoptera musculus*, in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada, Ottawa, pp. 1-32.

Sourisseau, M., Y. Simard et F. J. Saucier. 2006. Krill aggregation in the St. Lawrence system, and supply of krill to the whale feeding grounds in the estuary from the gulf. Mar. Ecol. Prog. Ser., 314: 257-270.

POUR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS

Communiquer avec : Patrick Ouellet / Claude Savenkoff / Peter Galbraith
Direction régionale des Sciences
Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, Route de la Mer, C.P. 1000
Mont-Joli, Québec, Canada G5H 3Z4
Téléphone : (418) 775-0675 (PO) / (418) 775-0764 (CS) / (418) 775-0852 (PG)
Télécopieur : (418) 775-0740
Courriel : patrick.ouellet@dfo-mpo.gc.ca
claude.savenkoff@dfo-mpo.gc.ca
Peter.galbraith@dfo-mpo.gc.ca

Ce rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Québec
Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli
Québec (Canada)
G5H 3Z4

Téléphone : (418) 775-0825
Télécopieur : (418) 775-0679
Courriel : Bras@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs

ISSN 1919-5109 (Imprimé)
ISSN 1919-5117 (En ligne)
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2012

An English version is available upon request at the above address.

LA PRÉSENTE PUBLICATION DOIT ÊTRE CITÉE COMME SUIT :

MPO. 2012. Avis de l'initiative de recherche écosystémique : espèces fourragères responsables de la présence du rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/052.